

УДК 621.838.222

М. П. Шишкарев, д-р техн. наук, доцент

Донской государственной технической университет, РФ

Тел.: +8(908)193-33-93; E-mail: shishkarev_m_p@mail.ru**АНАЛИЗ ВАРИАНТОВ АДАПТИВНОЙ ФРИКЦИОННОЙ МУФТЫ ВТОРОГО ПОКОЛЕНИЯ С РАЗДЕЛЬНЫМ СИЛОВЫМ ЗАМЫКАНИЕМ**

В статье приведены результаты разработки вариантов адаптивной фрикционной муфты второго поколения с раздельным силовым замыканием. Показано, что вращающий момент основной фрикционной группы адаптивной фрикционной муфты второго поколения может принимать максимальное значение внутри интервала изменения коэффициента трения и обращаться в нуль при максимальном значении последнего, а значение коэффициента трения, соответствующее максимальному значению вращающего момента данной фрикционной группы, обратно пропорционально коэффициенту усиления.

Ключевые слова: адаптивная фрикционная муфта, второе поколение, вариант, фрикционная группа, коэффициент усиления, коэффициент трения, раздельное замыкание.

М. P. Shishkarev**ANALYSIS OF ADAPTIVE FRICTION OPTIONS COUPLINGS OF THE SECOND GENERATION WITH SEPARATE POWER CLOSURE**

The article presents the results of the development of variants of the adaptive friction clutch of the second generation with a separate power closure. It is shown that the torque of the main friction group of the adaptive friction clutch of the second generation can take the maximum value within the interval of change of the coefficient of friction and go to zero at the maximum value of the latter, and the value of the coefficient of friction corresponding to the maximum value of the torque of this friction group is inversely proportional to the gain.

Keywords: adaptive friction clutch, second generation, variant, friction group, gain factor, friction coefficient.

1. Введение

Результаты исследования базового варианта адаптивной фрикционной муфты (АФМ) второго поколения выявили ее ограниченные возможности с точки зрения точности срабатывания [1, 2]. Причина ограниченной точности муфты заключается в ограничении, накладываемом на максимальное значение коэффициента усиления (КУ) [3].

Цель исследования. Синтез конструктивных вариантов АФМ второго поколения с измененными схемами силового замыкания пар трения основной фрикционной группы (ОФГ) и дополнительной фрикционной группы (ДФГ).

Задачи исследования. 1. Анализ изменения значений вращающих моментов ОФГ и ДФГ вариантов АФМ второго поколения с раздельным силовым замыканием. 2. Выбор оптимального, по критерию точности срабатывания, варианта АФМ второго поколения с раздельным силовым замыканием. 3. Анализ изменения значений распорных сил, возбуждаемых парами трения ОФГ и парами трения ДФГ в отдельности.

2. Основное содержание и результаты работы

Рассмотрим три различных варианта работы АФМ:

– функция (1) обращается в ноль при любом значении коэффициента трения, принадлежащем интервалу $f_{\min} \dots f_{\max}$, кроме его нижнего и верхнего граничных значений;

$$F_{p1} = (z-1)F_n C_f \frac{1-C_f}{1+(z-1)C_f} \quad (1)$$

– функция (1) обращается в нуль при значении коэффициента трения, равном f_{\max} ;

– функция (1) обращается в нуль при значении коэффициента трения, равном f_{\min} .

В соотношении (1) и подстрочных комментариях приняты следующие обозначения:

ния: F_{p1} – распорная сила, возбуждаемая вращающим моментом пар трения ОФГ; $F_{п}$ – сила натяжения пружины, замыкающей пары трения ОФГ и ДФГ муфты; f_{min}, f_{max} – соответственно минимальный и максимальные коэффициенты трения.

Вариант 1. Обращение в ноль функции (1) означает выключение из работы пар трения ОФГ. Согласно принципу действия исследуемой АФМ, ОФГ охвачена отрицательной обратной связью, и ее выключение из работы означает превращение объекта в неадаптивную муфту [4, 5], в которой обратная связь не действует.

Данная конфигурация муфты отличается низкой точностью срабатывания, и по этой причине рассматриваемый вариант, несмотря на принципиальную возможность его реализации, не может быть рекомендован для использования на практике.

Вариант 2. Данный вариант предполагает выключение из работы пар трения ОФГ при значениях коэффициента трения, таких, что $f_{min} < f_k < f_{max}$ (где f_k – коэффициент трения, соответствующий точке максимума нагрузочной характеристики ОФГ).

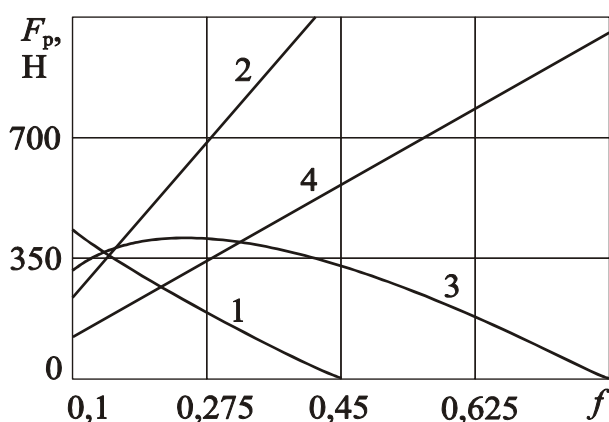


Рисунок 1. Зависимости распорной силы от коэффициента трения

В этом случае в интервале значений коэффициента трения $f_{min} \dots f_k$ муфта будет работать в адаптивном режиме, т. е. с автоматическим регулированием усилия прижатия друг к другу пар трения ОФГ, следовательно, с повышенной точностью срабатывания. В интервале значений $f_k \dots f_{max}$, вследствие выключения из работы пар трения ОФГ, автоматическое регулирование в муфте не действует, в связи с чем муфта становится неадаптивной, поскольку вся нагрузка передается парами трения ДФГ.

В результате этого точность срабатывания будет заметно снижена, что не является

выгодным режимом функционирования АФМ.

Вариант 3. Обращение в нуль функции (1) при значении коэффициента трения, равном f_{max} , означает одновременное с этим выключение из работы обратной связи. Следовательно, в данном варианте автоматическое регулирование в муфте осуществляется в интервале значений $f_{min} \dots f_{max}$, исключая его верхнее граничное значение. Поэтому точность срабатывания АФМ в данном варианте будет наибольшей при значении КУ C , вычисляемом по соотношению:

$$C = \frac{1}{f_{max}} \tag{2}$$

Графики изменения значений распорных сил F_{p1} и F_{p2} , где F_{p2} – распорная сила, возбуждаемая вращающим моментом пар трения ДФГ:

$$F_{p2} = F_{п} C f \tag{3}$$

показаны на рис. 1. Кривые 1 и 3 отражают функцию (1) при различных значениях КУ

С :

– кривая 1 – при $C=2,5$;

– кривая 2 – при $C=1,25$.

Прямые 2 и 4 отражают графики функции (3) при значениях КУ C , соответствующих кривой 1 и кривой 3.

Остальные исходные данные, принятые при построении графиков: $z=6$, $F_n=1000$ Н. Интервал изменения значения коэффициента трения указан на оси абсцисс рис. 1.

Прямая 2 показана на рис. 1 в ограниченном интервале значений коэффициента трения $f=0,1\dots0,38$. Это объясняется следующим: при $f=0,38$ распорная сила F_{p2} становится равной силе натяжения пружины $F_n=1000$ Н, после чего сила F_{p2} увеличивается нелинейно. Данный участок интервала изменения значения коэффициента трения, ввиду резкого увеличения вращающего момента и снижения точности срабатывания, интереса не представляет.

Графики (прямые 2 и 4) показывают, что при увеличенном значении КУ C распорная сила F_{p2} увеличивается быстрее, чем при предельно допустимом значении КУ, вычисленном по соотношению (2). В результате этого равенство $F_{p2} = F_n$ в первом случае (прямая 2) наступает при меньшем значении коэффициента трения, чем во втором случае (прямая 4).

Из изложенного следует, что увеличение КУ C приводит к росту полной распорной силы и к уменьшению ширины интервала изменения коэффициента трения, внутри которого на пары трения ОФГ действует отрицательная обратная связь.

Поскольку с увеличением ширины упомянутого интервала изменения коэффициента трения повышается точность срабатывания АФМ [6, 7], можно сделать вывод о том, что распорная сила F_{p2} , возрастающая гораздо быстрее, чем распорная сила F_{p1} (см. парные графики 1 и 2, 3 и 4), доминирует в формировании полной распорной силы в муфте.

Действие вращающего момента T_2 ДФГ для повышения значения КУ C , обеспечивающей функционирование обратной связи в интервале значений коэффициента трения $f_{\min}\dots f_{\max}$, необходимо уменьшать.

Обратимся с этой целью к соотношению, отражающему нагрузочную способность ДФГ и имеющему вид:

$$T_2 = F_n R_{cp} f . \quad (4)$$

Изменять, в частности, уменьшать значение вращающего момента T_2 можно посредством варьирования величин двух параметров – средний радиус поверхностей трения пар ОФГ и ДФГ R_{cp} и F_n .

Вариант АФМ, в которой исследовано влияние параметра R_{cp} на точность срабатывания, рассмотрен в работах [8, 9]. Результаты исследования показали, что наибольшая точность срабатывания муфты достигается при отношении среднего радиуса поверхностей трения ДФГ к среднему радиусу поверхностей трения ОФГ, равном 0,85. Вместе с тем, в упомянутой работе отмечается, что повышение точности срабатывания АФМ относительно невелико, и в ряде случаев не соответствует требованиям,

предъявляемым к предохранительным муфтам по надежной защите приводов машин от перегрузок [10].

Положим в формуле (4) вместо параметра F_n параметр nF_n (где n – коэффициент, $n \neq 1$). Тогда формулу (4) запишем в следующем виде:

$$T_2 = nF_n R_{cp} f . \quad (5)$$

Коэффициент n в формуле (5) означает, что значение усилия замыкания пары трения ДФГ должно отличаться от значения усилия замыкания пар трения ОФГ.

Исследуем влияние введенной корректировки на распорные силы F_{p1} и F_{p2} . Учитывая, что по-прежнему распорные силы F'_{p1} и F'_{p2} формируются за счет соответственно момента сил трения ведомых пар ОФГ и момента сил трения пары ДФГ, используя полученные выше результаты, запишем:

$$F'_p = (z-1)(F_n - F'_p)Cf + nF_n Cf , \quad (6)$$

где F'_p – полная (общая) распорная сила, действующая в муфте.

Решение уравнения (6) имеет следующий вид:

$$F'_p = F_n Cf \frac{z-1+n}{1+(z-1)Cf} . \quad (7)$$

Сравнение соотношения

$$F_p = zF_n R_{cp} f \frac{1}{1+(z-1)Cf} \quad (8)$$

и (7) показывает, что при одном и том же значении КУ C и при $n < 1$ (как это следует из изложенного выше) выполняется неравенство $F'_p < F_p$. Это означает, что в данном случае точность срабатывания муфты при уменьшенном значении силового замыкания пары трения ДФГ снижается.

В соотношении (8) параметр F_p означает полную распорную силу в АФМ.

Значение распорной силы F_{p1} при дифференцированном силовом замыкании пар трения ОФГ и ДФГ, очевидно, не изменяется (при сохранении параметров, относящихся к ОФГ) и по-прежнему может быть вычислено по формуле (1). Значение распорной силы F'_{p2} для рассматриваемого случая вычисляется по следующей формуле

$$F'_{p2} = nF_n Cf . \quad (9)$$

Очевидно, что неравенство $F'_p < F_p$, приведенное выше, обусловлено именно тем, что, согласно изложенному, а также условию, наложенному на ограничение величины коэффициента n , выполняется условие $F'_{p2} < F_{p2}$.

Таким образом, предлагаемый вариант АФМ предполагает, что силовое замыкание пар трения ОФГ осуществляется силой, равной F_n , а пары трения ДФГ – силой, равной nF_n .

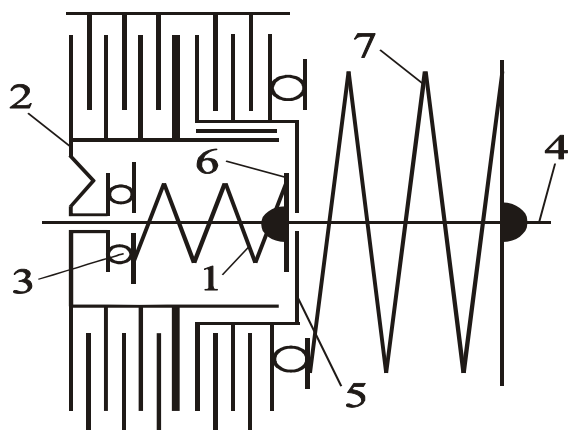


Рисунок 2. Принципиальная схема № 1 силового замыкания АФМ

трения ОФГ.

Принципиальные конструктивные схемы предложенных вариантов силового замыкания пар трения ОФГ и ДФГ показаны на рис. 2–5.

Схема, изображенная на рис. 2, соответствует первому варианту силового замыкания. Для осуществления отдельного, не зависящего одно от другого, силового замыкания пружина 1 левым торцом опирается на нажимной диск 2 через упорный подшипник 3, правым торцом – на жесткий упор, закрепленный на ступице полумуфты 4. Таким образом осуществляется обособленное силовое замыкание пар трения ОФГ.

Для осуществления обособленного силового замыкания пар трения ДФГ последние конструктивно выделены в отдельный узел, который состоит из стакана 5, кинематически связанного со ступицей нажимного диска в окружном направлении, на фланец которого опирается пакет дисков ДФГ. Стакан, в свою очередь, опирается на жесткий упор 6, так что осевое усилие, воспринимаемое стаканом от пружины 7, на нажимной диск не передается. Таким образом, осуществляется обособленное силовое замыкание пар трения ДФГ.

На рис. 3 изображен первый вариант второй схемы силового замыкания. Пружина 1 осуществляет общее силовое замыкание пар трения ОФГ и ДФГ. Пружина 2, расположенная между нажимным диском 3 и жестким упором 4, который закреплен на ступице полумуфты 5, осуществляет дополнительное силовое замыкание только пар трения ОФГ. Благодаря этому реализуется отдельное силовое замыкание пар трения ОФГ и ДФГ.

Второй вариант второй схемы силового замыкания показан на рис. 4. Схема отличается конструктивной простотой и включает пружину 1, которая, как и в схеме № 1, обеспечивает общее силовое замыкание пар трения ОФГ и ДФГ. Особенностью схемы является то, что левый торец

Очевидно, что конструктивный вариант предлагаемой АФМ должен включать две пружины, расположенные по следующим возможным схемам:

- отдельное, не зависящее от пары трения ДФГ, силовое замыкание пар трения ОФГ;
- отдельное, не зависящее от пар трения ОФГ, силовое замыкание пары трения ДФГ;
- общее силовое замыкание пар трения ОФГ и ДФГ с помощью одной пружины, дополнительное силовое замыкание пар трения ОФГ с помощью второй пружины;
- силовое замыкание пар трения ОФГ, не зависящее от силового замыкания пары трения ДФГ;
- силовое замыкание пары трения ДФГ, зависящее от силового замыкания пар трения ОФГ.

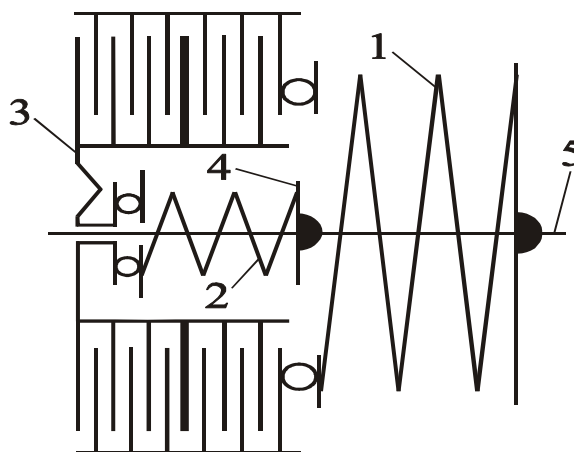


Рисунок 3. Первый вариант принципиальной схемы № 2 силового замыкания

пружины 2, осуществляющей силовое замыкание пар трения ОФГ, упирается в нажимной диск 3, а правый торец – во фланец 4, свободно посаженный на ступицу полумуфты 5.

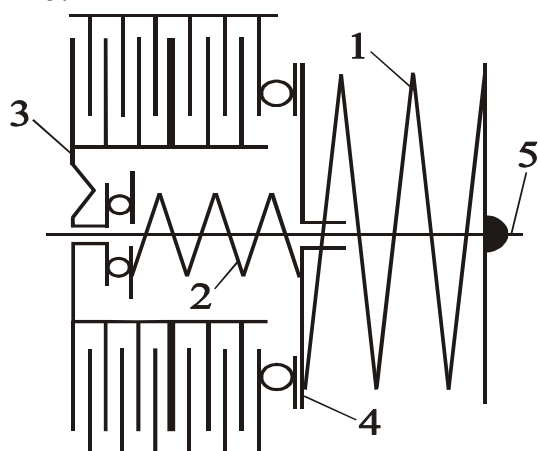


Рисунок 4. Второй вариант принципиальной схемы № 2 силового замыкания

диски трения) посажены на стакан между его упорным диском и фланцем 3.

Некоторое разнообразие приведенных выше схем силового замыкания, очевидно, предполагает различие в математических зависимостях, с помощью которых описываются соответствующие варианты АФМ.

Обсуждение и результаты. Возможность обращения в нуль вращающего момента ОФГ при максимальном значении коэффициента трения и более быстрое увеличение распорной силы от вращающего момента пар трения ДФГ создает предпосылки для ограничения максимального значения КУ.

Результаты исследования, могут быть использованы при синтезе АФМ второго поколения с раздельным силовым замыканием пар трения ОФГ и ДФГ.

3. Заключение

1. Дифференцированный анализ изменения значений вращающих моментов фрикционных групп показал, что вращающий момент ОФГ может принимать максимальное значение внутри интервала изменения коэффициента трения и обращаться в нуль при его максимальном значении.

2. Значение коэффициента трения, соответствующее максимальному значению вращающего момента ОФГ, обратно пропорционально коэффициенту усиления.

3. С точки зрения точности срабатывания АФМ предпочтительным является вариант, отмеченный в п. 1.

4. Дифференцированный анализ изменения значений распорных сил, возбужда-

Третья схема силового замыкания показана на рис. 5. Данная схема реализуется за счет того, что пары трения ОФГ замыкаются при помощи пружины 1, левый торец которой упирается в нажимной диск 2. Правый торец пружины 1 передает усилие фланцу 3, центрированному по ступице 4 полумуфты и имеющему возможность осевого перемещения. Усилие передается через опорную шайбу 5 и пальцы 6, пропущенные сквозь отверстия стакана 7, который смонтирован на ступице нажимного диска. Слева стакан опирается на жесткий упор 8, закрепленный на ступице полумуфты.

Силовое замыкание пар трения ДФГ осуществляется при помощи пружины 9 через фланец 3. Пары трения ДФГ (внутренние

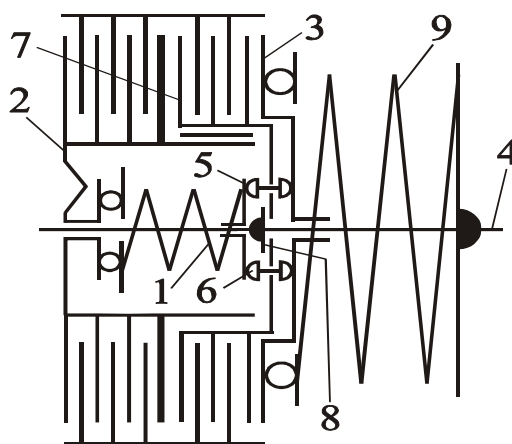


Рисунок 5. Принципиальная схема № 3 силового замыкания

емых парами трения ОФГ и парами трения ДФГ в отдельности, выявил более быстрое увеличение распорной силы от вращающего момента пар трения ДФГ.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Шишкарев, М. П. Анализ точности срабатывания вариантов адаптивной фрикционной муфты с отдельным силовым замыканием / М. П. Шишкарев, А. Ю. Угленко // Сборка в машиностроении, приборостроении. – 2015. – № 3. – С. 36–41.
2. Шишкарев, М. П. Точность срабатывания адаптивной фрикционной муфты с отдельным силовым замыканием / М. П. Шишкарев, А. Ю. Угленко // Вестник ДГТУ. – 2014. – Т. 14. – № 1 (76). – С. 200–203.
3. Шишкарев, М. П. Исследование эксплуатационных характеристик адаптивной фрикционной муфты второго поколения / М. П. Шишкарев, А. Ю. Угленко // Трение и смазка в машинах и механизмах. – 2013. – № 4. – С. 21–26.
4. Шишкарев, М. П. Эксплуатационные характеристики адаптивной фрикционной муфты второго поколения с отдельным силовым замыканием / М.П. Шишкарев, А. А. Лущик // Тракторы и сельхозмашины. – 2013. – № 3. – С. 28–31.
5. Шишкарев, М. П. Модернизация адаптивной фрикционной муфты второго поколения / М. П. Шишкарев, А. Ю. Угленко // Сборка в машиностроении, приборостроении. – 2012. – № 10. – С. 3–6.
6. Шишкарев, М.П. Точность срабатывания адаптивных фрикционных муфт / М. П. Шишкарев // Вестник машиностроения. – 2005. – № 12. – С. 17–18.
7. Шишкарев, М. П. Аналитическое обоснование оптимального способа настройки предохранительных фрикционных муфт / М. П. Шишкарев // Вестник машиностроения. – 2009. – № 9. – С. 3–6.
8. Шишкарев, М. П. Обоснование наибольшей точности срабатывания адаптивных фрикционных муфт / М.П. Шишкарев, Чан Ван Дык // Трение и смазка в машинах и механизмах. – 2015. – № 11. – С. 20–26.
9. Шишкарев, М. П. Исследование вариантов адаптивных фрикционных муфт второго поколения / М.П. Шишкарев, Чан Ван Дык // Тракторы и сельхозмашины. – 2014. – № 9. – С. 42–45.
10. Шишкарев, М. П. Оптимизация коэффициента усиления адаптивных фрикционных муфт первого поколения с дифференцированными парами трения / М. П. Шишкарев // Тракторы и сельхозмашины. – 2010. – № 4. – С. 36–39.

Поступила в редколлегию 17.03.2022 г.